

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 101 11 501 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
**H 01 L 33/00**

21 Aktenzeichen: 101 11 501.6  
22 Anmeldetag: 9. 3. 2001  
43 Offenlegungstag: 19. 9. 2002

DE 101 11 501 A 1

11 Anmelder:  
OSRAM Opto Semiconductors GmbH & Co. oHG,  
93049 Regensburg, DE  
14 Vertreter:  
Epping, Hermann & Fischer, 80339 München

12 Erfinder:  
Baur, Johannes, Dr., 93180 Deuerling, DE; Eisert,  
Dominik, Dr., 93049 Regensburg, DE; Fehrer,  
Michael, Dr., 93077 Bad Abbach, DE; Hahn,  
Berthold, Dr., 93155 Hemau, DE; Härle, Volker, Dr.,  
93164 Laaber, DE; Ortmann, Marianne, 93170  
Bernhardswald, DE; Strauß, Uwe, Dr., 93077 Bad  
Abbach, DE; Völkl, Johannes, Dr., 91056 Erlangen,  
DE; Zehnder, Ulrich, Dr., 93049 Regensburg, DE

56 Entgegenhaltungen:

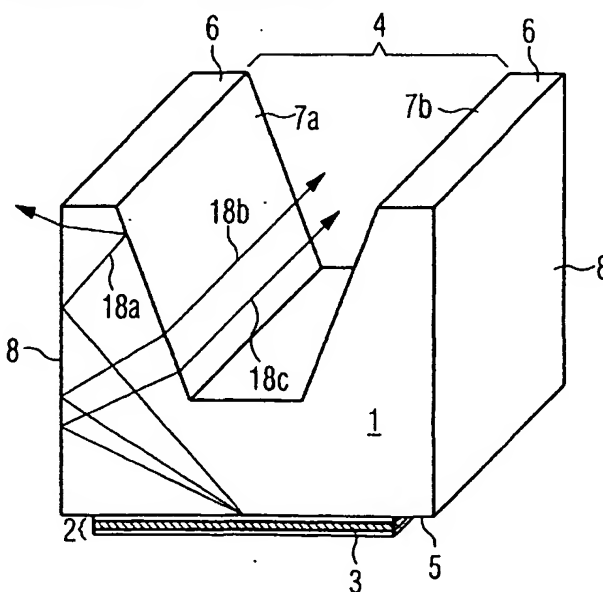
DE	199 27 945 A1
DE	43 24 325 A1
DE	42 18 806 A1
DE	27 27 508 A1
US	58 14 839 A
US	33 43 026
EP	06 11 131 A1
EP	04 05 757 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Strahlungsemitterndes Halbleiterbauelement und Verfahren zu dessen Herstellung

57 Die Erfindung beschreibt ein strahlungsemitterndes Halbleiterbauelement mit verbesserter Strahlungsausbeute sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung. Das Halbleiterbauelement weist eine Mehrschichtstruktur (2) mit einer aktiven Schicht (3) zur Strahlungserzeugung innerhalb der Mehrschichtstruktur (2) sowie ein Fenster (1) mit einer ersten und einer zweiten Hauptfläche auf. Die Mehrschichtstruktur grenzt an die erste Hauptfläche (5) des Fensters (1). Von der zweiten Hauptfläche (6) her ist in dem Fenster (1) mindestens eine Ausnehmung zur Erhöhung der Strahlungsausbeute gebildet. Die Ausnehmung weist vorzugsweise einen trapezförmigen, sich zur ersten Hauptfläche (5) hin verjüngenden Querschnitt auf und kann beispielsweise durch Einsägen des Fensters hergestellt werden.



DE 101 11 501 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie ein Herstellungsverfahren hierfür nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 16.

[0002] Strahlungsemitierende Halbleiterbauelemente der genannten Art weisen in der Regel ein Halbleitermehrschichtsystem mit einer aktiven, der Strahlungserzeugung dienenden Schicht auf, das auf einen Träger aufgebracht ist. Die Strahlungsauskopplung erfolgt durch den Träger hindurch, wobei der Träger für die erzeugte Strahlung transparent ist. Bei dieser Anordnung wird jedoch die Strahlungsausbeute durch Totalreflexion an der Trägeroberfläche stark eingeschränkt. Diese Problematik tritt besonders stark bei Trägern mit hohem Brechungsindex wie beispielsweise SiC-Substraten auf und wird weiter verschärft, wenn der Brechungsindex des Trägers größer ist als der Brechungsindex des Mehrschichtsystems.

[0003] Der Einfluß der Totalreflexion auf die Strahlungsauskopplung ist beispielhaft in Fig. 9 anhand eines GaN-basierenden Mehrschichtsystems 20 auf einem quaderförmigen, im Schnitt rechteckigen SiC-Substrat 19 dargestellt. Das SiC-Substrat 19 mit einem Brechungsindex von etwa 2,7 stellt gegenüber dem Mehrschichtsystem 20 mit einem Brechungsindex von etwa 2,5 das optisch dichtere Medium dar. Die gezeigte Halbleiterstruktur ist von einem Medium mit geringem Brechungsindex, beispielsweise Luft, umgeben.

[0004] Die Mehrschichtstruktur 20 weist eine aktive strahlungserzeugende Schicht 21 auf. Es sei aus der aktiven Schicht 21 ein kleines strahlungsemitierendes Volumen 23 herausgegriffen, das näherungsweise als isotroper Punktstrahler beschrieben werden kann. Die folgende Betrachtung trifft auf nahezu alle solchen Teilvolumina 21 der aktiven Schicht zu.

[0005] Die von dem Volumen 23 in Richtung des SiC-Substrats 19 emittierte Strahlung 22 trifft zunächst auf die Mehrschichtsystem-Substrat-Grenzfläche auf und wird beim Eintritt in das Substrat zur Grenzflächennormale hin gebrochen.

[0006] Eine direkte Auskopplung der Strahlung an der der Grenzfläche gegenüberliegenden Substrathauptfläche 25 ist nur für Strahlungsanteile möglich, deren Einfallswinkel kleiner als der Totalreflexionswinkel (jeweils bezogen auf die Normale der Auskoppelfläche 25) ist. Für ein hochbrechendes Substrat ist der Totalreflexionswinkel vergleichsweise klein und beträgt beispielsweise für SiC etwa 22°.

[0007] Daher wird lediglich ein geringer Teil 22c der erzeugten Strahlung aus dem Zentrum des Strahlenbündels 22a, b, c direkt ausgekoppelt. Der Rest der erzeugten Strahlung wird totalreflektiert.

[0008] Der an der Auskoppelfläche 25 totalreflektierte Strahlungsanteil 22b trifft nachfolgend unter einem noch flacheren Winkel auf die Substratseitenfläche 26 auf und wird wiederum totalreflektiert.

[0009] Ebenso werden die verbleibenden Strahlungsanteile 22a, die zuerst auf die Seitenflächen 26 des Substrats 19 auftreffen, zunächst an den Seitenflächen 26 und anschließend an der Auskoppelfläche 25 totalreflektiert.

[0010] Bei der gezeigten rechtwinkligen Anordnung von Seiten- und Hauptflächen geht der Einfallswinkel nach einer Reflexion in sich selbst oder den Komplementärwinkel über, so daß auch nach mehrfachen Reflexionen eine Auskopplung der Strahlungsanteile 22a, b an diesen Flächen nicht möglich ist.

[0011] Somit wird von der gesamten in Richtung des Substrats 19 emittierten Strahlung 22 nur ein sehr geringer An-

teil 22c ausgekoppelt. Der Rest der Strahlung 22a, b läuft unter vielfacher Totalreflexion im Substrat 19 um, tritt gegebenenfalls wieder in die Mehrschichtstruktur 20 ein und wird schließlich im Laufe dieser zyklischen Propagation absorbiert.

[0012] Aus DE 198 07 758 A1 ist ein lichtemittierendes Halbleiterelement bekannt, dessen Halbleiterseitenflächen zur Erhöhung der Strahlungsausbeute ganz oder teilweise angeschrägt sind, so daß das Substrat die Form eines Pyramidenstumpfs erhält. Aufgrund dieses Anschrägens wird der Einfallswinkel für Teile der erzeugten Strahlung beim Auftreffen auf die Seitenflächen unter den Totalreflexionswinkel verringert, so daß diese Strahlungsanteile auskoppelbar sind.

[0013] Da die zusätzliche Strahlungsauskopplung nur an den Randbereichen des Bauelements erfolgt, wird insbesondere bei großflächigen Bauelementen mit vergleichsweise dünnen Substraten die Strahlungsausbeute nur geringfügig erhöht. Zudem sind viele Bestückungsanlagen für Halbleiterchips mit einem Substrat in Quader- oder Würfelform ausgelegt. Die Änderung der Substratgrundform kann bei solchen Anlagen zu Funktionsstörungen führen oder kosten- aufwendige Umrüstungen erforderlich machen.

[0014] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement der eingangs genannten Art mit verbesserter Strahlungsausbeute zu schaffen sowie ein Herstellungsverfahren hierfür anzugeben.

[0015] Diese Aufgabe wird durch ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelemente nach Patentanspruch 1 beziehungsweise ein Herstellungsverfahren nach Patentanspruch 16 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 15 und 17 bis 23.

[0016] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement mit einer Mehrschichtstruktur, einer aktiven, der Strahlungserzeugung dienenden Schicht innerhalb der Mehrschichtstruktur, mit der aktiven Schicht elektrisch verbundenen Kontakten und einem für die erzeugte Strahlung durchlässigen Fenster mit einer ersten Hauptfläche und einer der ersten Hauptfläche gegenüberliegenden zweiten Hauptfläche zu bilden, wobei das Fenster mit der ersten Hauptfläche an die Mehrschichtstruktur grenzt und von der zweiten Hauptfläche her mindestens eine grabenartige oder grubenartige Ausnehmung in dem Fenster zur Erhöhung der Strahlungsausbeute gebildet ist.

[0017] Die Ausnehmung ist dabei so ausgeführt, daß Teile der erzeugten Strahlung an ihren Begrenzungsflächen ausgekoppelt oder in einer die Auskopplung aus dem Fenster begünstigenden Art reflektiert werden.

[0018] Eine Auskopplung von Strahlungsanteilen wird dadurch erreicht, daß die Begrenzungsflächen der Ausnehmung zumindest teilweise so angeordnet sind, daß der Einfallswinkel dieser Strahlungsanteile auf die Begrenzungsflächen möglichst gering und insbesondere kleiner als der Totalreflexionswinkel ist.

[0019] Eine die Auskopplung begünstigende Reflexion liegt beispielsweise vor, wenn Strahlungsanteile zunächst von den Begrenzungsflächen der Ausnehmung totalreflektiert werden, wobei die zyklische Propagation innerhalb des Fensters durchbrochen wird, so daß die betreffenden Strahlungsanteile zumindest nach einigen weiteren Reflexionen an einer Begrenzungsfläche des Fensters ausgekoppelt werden können.

[0020] Die Unterbrechung einer zyklischen Propagation bewirkt insbesondere bei einem Fenster, dessen Seitenflächen senkrecht zu den Hauptflächen angeordnet sind, eine Erhöhung der Strahlungsausbeute. Wie eingangs beschrieben bilden sich bei solchen Anordnungen mit würfel- oder

quaderförmigem Fenster zyklisch propagierende Strahlungsbündel sehr leicht aus, so daß der Anteil der nicht auskopplungsfähigen Strahlung dementsprechend hoch ist.

[0021] Mit Vorteil erfordert die Erhöhung der Strahlungsausbeute mittels einer Ausnehmung in dem Fenster keine Änderungen der einhüllenden Grundform des Fensters, so daß zur Herstellung erfindungsgemäßer Bauelemente auch Produktions- und Bestückungsanlagen verwendet werden können, deren Funktion auf bestimmte vorgegebene Grundformen des Fensters festgelegt ist. Mit der Erfindung kann insbesondere eine hohe Strahlungsausbeute bei bekannten und etablierten Fenstergrundformen wie beispielsweise einer einhüllenden Würfel- oder Quaderform erzielt werden. [0022] Zur weiteren Erhöhung der Strahlungsausbeute sind bei der Erfindung bevorzugt mehrere Ausnehmungen in dem Fenster gebildet. Besonders bevorzugt ist im Hinblick auf die gering zu haltende Anzahl von Herstellungsschritten eine Mehrzahl gleichförmiger Ausnehmungen.

[0023] Im Gegensatz zu einer randseitigen Strukturierung des Fensters zur Erhöhung der Strahlungsausbeute, beispielsweise durch Anschrägen der Seitenflächen, kann bei der Erfindung eine verbesserte Auskopplung über eine größere Fläche und eine gleichmäßigere Verteilung der ausgekoppelten Strahlung auf dieser Fläche erreicht werden. Dies ist von besonderem Vorteil für großflächige Bauelemente, da bei nach oben skaliertem Bauelemente das Verhältnis von Umfang zu Fläche sinkt. Daher sind bei großflächigen Bauelementen auf den Umfang der Bauelemente beschränkte Mittel zu Erhöhung der Strahlungsausbeute in der Regel weit weniger effizient als in der Fläche aufgebrachte Mittel zu Erhöhung der Strahlungsausbeute.

[0024] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist die Ausnehmung in dem Fenster mindestens eine ebene Seitenfläche auf, die mit der zweiten Hauptfläche des Fensters einen von 90° verschiedenen Winkel einschließt. Besonders bevorzugt liegt dieser Winkel zwischen 20° und 70°. Eine derartige Ausnehmung kann beispielsweise in Form eines Grabens mit zu den Hauptflächen schräg stehenden Seitenwänden realisiert werden, der zum Beispiel durch entsprechendes Einsägen des Fensters herstellbar ist. Bevorzugt weist ein solcher Graben einen trapezförmigen, sich in Richtung der Mehrschichtstruktur verjüngenden Querschnitt auf.

[0025] Zur weiteren Erhöhung der Strahlungsausbeute können auch mehrere sich kreuzende oder parallel verlaufende Gräben ausgebildet sein. Eine Parallelanordnung bewirkt eine asymmetrische Richtcharakteristik der erzeugten Strahlung, während sich kreuzende Gräben zu einer gleichmäßigen Verteilung der ausgekoppelten Strahlung führen. Je nach Anwendungsgebiet kann eine der beiden Ausführungsformen vorteilhafter sein.

[0026] Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist die Ausnehmung ganz oder teilweise von gekrümmten Flächen begrenzt. Die Reflexion an gekrümmten Begrenzungsflächen einer Ausnehmung schließt mit Vorteil eine zyklische Propagation weitgehend aus. Die Ausnehmungen können hierbei insbesondere in Form einer Halbkugel, eines Kugelsegments, eines Ellipsoidsegments, eines Kegels oder eines Kegelstumpfs gebildet sein. Auch ähnliche Formen, die beispielsweise aus den genannten Grundformen durch Verzerrungen wie Streckung, Stauchung oder Scherung hervorgehen, sind geeignet.

[0027] Solche Formen sind beispielsweise durch Laseroberablation oder Ätzen herstellbar. Auch können die obengenannten grabenförmigen Ausnehmungen von gekrümmten Flächen begrenzt und beispielsweise mit einem halbkreisförmigen Querschnitt gebildet sein.

[0028] Bei einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung

ist die Mehrschichtstruktur epitaktisch hergestellt. Aus dem Epitaxiesubstrat kann später zugleich das Fenster gefertigt werden. Besondere Vorteile besitzt die Erfindung bei hochbrechenden Substraten wie beispielsweise SiC mit dementsprechend großen Totalreflexionsbereichen, insbesondere dann, wenn der Brechungsindex des Substrats größer ist als der Brechungsindex der Mehrschichtstruktur.

[0029] Wie eingangs beschrieben, tritt dieser Fall vor allem bei GaN-basierenden Mehrschichtstrukturen auf. Dies sind Mehrschichtstrukturen, die GaN oder eine davon abgeleitete oder damit verwandte Verbindung enthalten. Hierzu zählen insbesondere GaN selbst, darauf basierende Mischkristallsysteme wie  $\text{AlGaIn}(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{In}_y\text{N}, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1)$  und  $\text{AlInGaIn}(\text{Al}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Ga}_y\text{N}, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1)$  sowie  $\text{AlN}$ ,  $\text{InN}$  und  $\text{InAlN}(\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}, 0 \leq x \leq 1)$ .

[0030] Üblicherweise werden solche Mehrschichtstrukturen auf einem SiC- oder Saphirsubstrat epitaktisch aufgewachsen, das zumindest teilweise für die erzeugte Strahlung, vornehmlich im blauen und grünen Spektralbereich, transparent ist. Bei beiden Substraten kann mit der Erfindung die Strahlungsausbeute durch Minderung der Totalreflexionsverluste erhöht werden, wobei die Erfindung für SiC-Substrate aufgrund der eingangs beschriebenen, durch den hohen Brechungsindex entstehenden Problematik von besonderem Vorteil ist.

[0031] Die Erfindung ist jedoch nicht auf GaN-basierende Systeme beschränkt, sondern kann ebenso bei anderen Halbleitersystemen wie beispielsweise bei GaAs-, GaP- oder ZnSe-basierenden Materialien angewandt werden. Auch hier verbleibt ein erheblicher Teil der erzeugten Strahlung aufgrund von Totalreflexion in der Mehrschichtstruktur-Fenster-Anordnung und wird schließlich absorbiert.

[0032] Ebenso ist die Erfindung auch für andere als die bisher genannten Fenstermaterialien, beispielsweise Quarzglas, Diamant, ITO (Indium tin oxide) oder auf ZnO, SnO, InO oder GaP basierende Materialien vorteilhaft, da in der Regel bei all diesen Fenstern bei der Auskopplung ein Übergang in ein optisch dünneres Medium vorliegt, bei dem Totalreflexion auftreten kann und der Auskoppelgrad dementsprechend reduziert ist.

[0033] Weiterhin ist die Erfindung auch für vergossene oder anderweitig mit einer Umhüllung versehene Halbleiterkörper beziehungsweise Fenster vorteilhaft, da die Umhüllung in der Regel den niedrigeren Brechungsindex aufweist, so daß auch in diesem Fall die Strahlungsausbeute durch Totalreflexion vermindert wird.

[0034] Ein Fenster aus den genannten Materialien kann nach der Herstellung der Mehrschichtstruktur auf die Mehrschichtstruktur aufgebracht sein. Bei der epitaktischen Herstellung ist dies beispielsweise dadurch möglich, daß nach der Epitaxie das Epitaxiesubstrat abgelöst und das Fenster an dessen Stelle mittels eines Waferbondingverfahrens mit der Mehrschichtstruktur verbunden wird. Alternativ kann das Fenster auch auf die epitaktisch hergestellte Halbleiteroberfläche aufgebracht und danach das Epitaxiesubstrat abgelöst werden. Diese Vorgehensweise besitzt den Vorteil, daß das Epitaxiesubstrat weiter verwendet werden kann, was insbesondere bei teuren Materialien wie beispielsweise SiC-Substraten zu einem deutlichen Kostenvorteil führt.

[0035] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitternden Halbleiterbauelements der genannten Art beginnt mit der Bereitstellung einer Fensterschicht, beispielsweise in Form eines geeigneten Substrats oder Wafers, mit einer ersten Hauptfläche und einer der ersten Hauptfläche gegenüberliegenden zweiten Hauptfläche. [0036] Auf die erste Hauptfläche wird im nächsten Schritt eine Halbleiterschichtenfolge aufgebracht, die der zu bilde-

nen Mehrschichtstruktur entspricht. Vorzugsweise erfolgt die Aufbringung epitaktisch oder mittels eines Waferbonding-Verfahrens.

[0037] Danach wird die Fensterschicht von der zweiten Hauptfläche her mit einem Sägeblatt mit Formrand eingesägt und damit eine grabenförmige Ausnehmung in dem Substrat gebildet. Die Schnitttiefe ist hierbei geringer als die Dicke der Fensterschicht.

[0038] Abschließend werden die Bauelemente fertiggestellt. Dies umfaßt beispielsweise Kontaktierung und Vereinzelung der Halbleiterschichtenfolge. Bei der Vereinzelung wird der Verbund von Fensterschicht und Halbleiterschichtenfolge in eine Mehrzahl von Fenstern mit jeweils darauf angeordneter Mehrschichtstruktur zerteilt.

[0039] Alternativ können die Ausnehmungen auch unter Verwendung einer geeigneten Maskentechnik geätzt oder mittels Laserablation hergestellt werden. Diese Alternative ermöglicht die Ausbildung von räumlich isolierten Ausnehmungen, also von Ausnehmungen, die sich nicht über die gesamte Fläche der Fensterschicht oder größere Teilbereiche hiervon erstrecken.

[0040] Isolierte Ausnehmungen können beispielsweise wie oben beschrieben in Gestalt eines Kegels, eines Kegelstumpfs, einer Halbkugel, eines Kugelkugelsegment, eines Ellipsoidsegments oder einer ähnlichen Form gebildet sein.

[0041] Weitere Merkmale, Vorzüge und Zweckmäßigkeiten der Erfindung werden nachfolgend anhand von acht Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Fig. 1 bis 8 erläutert.

[0042] Es zeigen:

[0043] Fig. 1a und 1b eine schematische, perspektivische Teilschnittdarstellung und eine schematische Detailansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements,

[0044] Fig. 2 eine schematische, perspektivische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements,

[0045] Fig. 3a und 3b eine schematische, perspektivische Darstellung und eine Schnittdarstellung eines dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements,

[0046] Fig. 4 eine schematische, perspektivische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements,

[0047] Fig. 5 eine schematische, perspektivische Darstellung eines fünften Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements,

[0048] Fig. 6 eine schematische Schnittdarstellung eines sechsten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements,

[0049] Fig. 7 eine schematische Schnittdarstellung eines siebten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements,

[0050] Fig. 8 eine schematische Schnittdarstellung eines achten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements und

[0051] Fig. 9 eine schematische Schnittdarstellung eines Halbleiterbauelements nach dem Stand der Technik.

[0052] Das in Fig. 1a dargestellte Ausführungsbeispiel weist ein Fenster 1 mit einer ersten Hauptfläche 5 und einer zweiten Hauptfläche 6 auf, wobei auf die ersten Hauptfläche 5 eine Mehrschichtstruktur 2 aufgebracht ist.

[0053] Die Mehrschichtstruktur 2 besteht aus einer Mehrzahl von Halbleiterschichten des Systems GaN/AlGaIn. Diese Mehrschichtstruktur 2 enthält eine aktive Schicht 3, die im Betrieb Strahlung 18 erzeugt (beispielhaft dargestellt anhand der Strahlen 18a, b, c).

[0054] Das Fenster 1 ist aus einem zur epitaktischen Her-

stellung der Mehrschichtstruktur 2 verwendeten SiC-Epitaxiesubstrat gefertigt und weist eine grabenförmige Ausnehmung 4 mit trapezförmigem Querschnitt auf, die bereits in dem Epitaxiesubstrat, vorzugsweise nach der Epitaxie, gebildet wurde.

[0055] Abgesehen von dieser Ausnehmung 4 besitzt das Fenster 1 eine quaderförmige einhüllende Grundform. Wie eingangs beschrieben ist bei einer solchen Vorrichtung mit einem Substrat, dessen Brechungsindex größer ist als der Brechungsindex der Mehrschichtstruktur, die Auskopplung der erzeugten Strahlung durch die Fensterflanken 8 aufgrund von Totalreflexion sehr begrenzt.

[0056] Durch das Anschragen der Seitenflächen 7a, b der grabenförmigen Ausnehmung 4 wird der Einfallswinkel für einen Teil 18b, c der von der Flanke 8 des Fensters reflektierten Strahlung so weit erniedrigt, daß er kleiner ist als der Totalreflexionswinkel und somit die Strahlung aus dem Fenster austreten kann.

[0057] Strahlungsanteile 18a, die trotz der Schrägstellung der entsprechenden Seitenwand 7a so flach einfallen, daß sie an der Seitenwand 7a totalreflektiert werden, werden zwischen der Fensterflanke 8 und der Seitenfläche der Ausnehmung 7a hin- und herreflektiert, wobei der Einfallswinkel nach jeder Reflexion geringer wird, bis schließlich eine Auskopplung möglich ist. Dies ist zur Verdeutlichung in der Detailschnittansicht in Fig. 1b erläutert.

[0058] Der Winkel  $\alpha$  bezeichnet den Winkel zwischen der Seitenfläche der Ausnehmung 7a und der Flanke des Fensters 8. Ein Strahl 18a, der mit einem Einfallswinkel  $\theta_1$  ( $\theta_1 > \theta_c$ ,  $\theta_c$ : Totalreflexionswinkel) auf die Ausnehmungsseitenfläche 7a trifft, wird unter Totalreflexion auf die Flanke 8 zurückgeworfen. Der Einfallswinkel  $\theta_2$  auf die Fensterflanke 8 ist gegenüber dem Einfallswinkel  $\theta_1$  bei der vorigen Reflexion um den Betrag  $\alpha$  reduziert:

$$\theta_2 = \theta_1 - \alpha.$$

[0059] Falls, wie dargestellt,  $\theta_2$  größer als der Totalreflexionswinkel  $\theta_c$  ist, wird der Strahl 18a erneut auf die Seitenfläche 7a rückreflektiert und trifft dort mit dem Einfallswinkel

$$\theta_3 = \theta_2 - \alpha = \theta_1 - 2\alpha$$

auf. Es wird also bei jeder Reflexion der Einfallswinkel um den Betrag  $\alpha$  reduziert, bis eine Auskopplung stattfinden kann.

[0060] Das in Fig. 2 gezeigte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem vorigen Beispiel darin, daß zwei sich unter einem rechten Winkel kreuzende Ausnehmungen 4a, b in dem Fenster 1 gebildet sind, wobei jede Ausnehmung in Form eines Grabens mit trapezförmigem Querschnitt ausgeführt ist. Damit wird die Gesamtauskoppelfläche und somit auch die Strahlungsausbeute vorteilhaft weiter erhöht.

[0061] Die beschriebenen Ausnehmungen werden vorzugsweise nach der epitaktischen Herstellung der Mehrschichtstruktur 2 durch Einsägen des Epitaxiesubstrats auf der der Mehrschichtstruktur abgewandten Seite mit einem Sägeblatt mit Formrand hergestellt. Der Formrand weist dabei im Querschnitt (Schnitt quer zur Sägerichtung) die dem gewünschten Grabenquerschnitt entsprechende Komplementärform auf.

[0062] Das in Fig. 2 gezeigte Ausführungsbeispiel wird entsprechend durch zwei sich kreuzende Sägeschnitte hergestellt. Die Sägetiefe ist dabei kleiner als die Fensterdicke, um die Mehrschichtstruktur 2 nicht zu beschädigen.

[0063] Das in Fig. 3a perspektivisch dargestellte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von den vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispielen darin, daß in dem Fen-

ster eine räumlich isolierte, umlaufend begrenzte Ausnehmung 4 in Form einer Halbkugel ausgebildet ist. Solche umlaufend begrenzten Ausnehmungen werden im Gegensatz zu grabenförmigen Ausnehmungen vorzugsweise in das Fenster 1 eingätzt. Fig. 3b zeigt einen mittigen, zur Mehrschichtfolge 2 senkrechten Schnitt durch das Ausführungsbeispiel.

[0064] Die Herstellung von Ausnehmungen durch Ätzen ist insbesondere geeignet für die Ausbildung einer Vielzahl von Ausnehmungen in einem Fenster 1, wie sie beispielsweise in Fig. 4 dargestellt sind. Bei Verwendung einer geeigneten, auf bekannten Technologien beruhenden Maskentechnik können dabei alle Ausnehmungen in einem einzigen Herstellungsschritt kostengünstig erzeugt werden. Die so gebildeten Bauelemente zeichnen sich durch eine hohen Strahlungsausbeute und eine besonders gleichmäßige Strahlungsverteilung auf der Auskoppelfläche aus.

[0065] Die Kontaktierung erfolgt bei dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel über metallisierte Kontaktbänder 9a, b, die zwischen den Ausnehmungen verlaufen und jeweils in einem Drahtanschlußbereich 11a, b enden. Als Gegenkontakt ist eine Kontaktfläche 10 auf die von dem Fenster 1 abwandte Seite der Mehrschichtstruktur 2 aufgebracht. Diese Kontaktfläche 10 kann beispielsweise als reflektierende Fläche gebildet sein. Dadurch werden auf die Kontaktfläche auftreffende Strahlungsanteile wieder in Richtung der Auskoppelfläche 6 zurückreflektiert. Für eine möglichst gleichförmige Stromeinleitung in die Mehrschichtstruktur ist eine vollflächig ausgebildete Kontaktfläche vorteilhaft.

[0066] In Fig. 5 ist ebenfalls ein Ausführungsbeispiel mit einer Mehrzahl von Ausnehmungen 4 in einem Fenster 1 gezeigt, die im Unterschied zu dem vorigen Ausführungsbeispiel als zueinander parallele Gräben angeordnet sind. Die Form der einzelnen Ausnehmungen entspricht dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1. Eine solche Struktur kann leicht durch mehrfaches paralleles Einsägen mit einem Formrandsägeblatt hergestellt werden. Diese Formgebung eignet sich insbesondere für großflächige Halbleiterbauelemente.

[0067] Die Kontaktierung des Bauelements erfolgt wiederum über zwei metallisierte Streifen 9a, b, die randnah auf die Hauptfläche 6 und die Ausnehmungen 4 aufgebracht sind und jeweils in einem Drahtanschlußbereich 11a, b enden. Der entsprechende Gegenkontakt ist als rückseitige Kontaktschicht 10 auf der Mehrschichtstruktur 2 ausgebildet.

[0068] Bei dem in Fig. 6 dargestellten Ausführungsbeispiel sind im Unterschied zu den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen die Fensterflanken teilweise angeschragt. Die Fensterflanken weisen hierbei seitens der ersten Fensterhauptfläche 5 einen ersten, zur Hauptfläche 5 orthogonalen Teilbereich 8a auf. Dieser erste Teilbereich 8a geht in Richtung der zweiten Hauptfläche 6 in einen zweiten, schräg zu den Hauptflächen 5 und 6 angeordneten Teilbereich 8b über. Ferner ist wie bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel in dem Fenster 1 ein Ausnehmung 4 mit schrägstehenden Seitenflächen 7 gebildet.

[0069] Durch diese Formgebung wie vorteilhafterweise die Strahlungsausbeute weiter erhöht, da die angeschragten Bereiche 8b der Fensterflanken in ähnlicher Weise wie die schägstehenden Seitenflächen 7 der Ausnehmung 4 den Anteil der totalreflektierten Strahlung vermindern. Im ersten Teilbereich 8a der Fensterflanken weist das Fenster zudem eine quaderförmige Grundform auf, die, wie beschrieben, die Montage des Halbleiterbauelements erleichtert und insbesondere für automatische Bestückungsanlagen vorteilhaft ist. Selbstverständlich kann auch auf die quaderförmige Grundform ganz verzichtet werden, um eine noch höhere

Strahlungsausbeute zu erreichen.

[0070] In Fig. 7 ist ein Ausführungsbeispiel eines optischen Bauelements gezeigt, das ein erfindungsgemäßes strahlungsemitterendes Halbleiterbauelement enthält. Das Halbleiterbauelement entspricht dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 und ist auf einen metallischen Kühlkörper 12, beispielsweise einen Kupferblock, aufgebracht. Der Kühlkörper ist elektrisch leitend mit der rückseitig auf der Mehrschichtstruktur 2 ausgebildeten Kontaktschicht 10 verbunden und dient sowohl der Wärmeabfuhr als auch der Kontaktierung. Das Halbleiterbauelement kann dabei auf den Kühlkörper 12 mittels eines elektrisch leitenden Klebstoffs aufgeklebt oder aufgelötet sein.

[0071] Abstrahlungsseitig ist das Halbleiterbauelement mit einem Verguß 13 abgedeckt. Dieser Verguß besteht aus einem Reaktionsharz, vorzugsweise einem Epoxid-, Acryl- oder Silikonharz, der unter anderem dem Schutz des Halbleiterbauelements vor schädlichen Umgebungseinflüssen dient.

[0072] Zusätzlich kann der Verguß auch als Träger oder Matrix für ein Strahlungskonversionselement dienen. So kann beispielsweise durch Suspension eines geeigneten Farbstoffs in die Vergußmasse ein Bauelement geschaffen werden, das mischfarbiges Licht, bestehend aus dem Licht des Halbleiterbauelements und dem von dem Farbstoff umgewandelten Licht, abstrahlt. Bei Verwendung eines im blauen Spektralbereich emittierenden Halbleiterbauelements und einem Farbstoff, der bei Anregung in diesem Spektralbereich im gelb-orangen Spektralbereich luminesziert, wird so eine Weißlichtquelle auf Halbleiterbasis geschaffen.

[0073] In Fig. 8 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel eines optischen Bauelements gezeigt. Hier sind zwei, dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 entsprechende Halbleiterbauelemente auf einen gewinkelten Kühlkörper 12 aufgebracht. Auf einen Verguß wurde verzichtet, da bereits durch die Formgebung der Fensterschicht die Auskopplung gegenüber Bauelementen nach dem Stand der Technik erhöht ist. Damit entfallen auch die mit einem Verguß verbunden Risiken für das Bauelement wie beispielsweise die Gefahr einer Delamination des Vergusses vom Halbleiterkörper oder eine mögliche Alterung und Vergilbung des Vergusses.

[0074] Alternativ ist natürlich eine Abdeckung des Halbleiterbauelements mittels eines Vergusses möglich, falls dieser, beispielsweise zum Schutz des Halbleiterkörpers, zur Ausbildung eines optischen Elements wie etwa einer Linse, zur weiteren Erhöhung der Strahlungsausbeute oder als Matrix für Leuchtstoffe, erwünscht ist.

[0075] Die gezeigte Formgebung der Fensterschicht und insbesondere die Ausbildung von Ausnehmungen in Form mehrerer paralleler Gräben bewirkt eine gerichtete Abstrahlung der erzeugten Strahlung. Unter Berücksichtigung dieser gerichteten Abstrahlcharakteristik lassen sich Module mit einer Mehrzahl von Halbleiterbauelement realisieren, die eine komplexere Abstrahlcharakteristik aufweisen. Solche komplexere Abstrahlcharakteristiken erfordern in der Regel zusätzliche, aufwendige Optiken. Auf diese kann bei der Erfindung ebenso wie auf einen Reflektor vorteilhafterweise verzichtet werden, so daß derartige Module besonders platzsparend angeordnet werden können.

[0076] Die Erläuterung der Erfindung anhand der dargestellten Ausführungsbeispiele stellt selbstverständlich keine Einschränkung der Erfindung auf diese dar.

#### Patentansprüche

1. Strahlungsemitterendes Halbleiterbauelement mit einer Mehrschichtstruktur (2), einer aktiven, der Strah-

lungserzeugung dienenden Schicht (3) innerhalb der Mehrschichtstruktur (2), elektrischen Kontakten (9a, b, 10), die mit der aktiven Schicht (3) elektrisch leitend verbunden sind und einem strahlungsdurchlässigen Fenster (1) mit einer ersten Hauptfläche (5) und einer der ersten Hauptfläche (5) gegenüberliegenden zweiten Hauptfläche (6), das mit der ersten Hauptfläche (5) an die Mehrschichtstruktur (3) grenzt, **dadurch gekennzeichnet**, daß in dem Fenster (1) von der zweiten Hauptfläche (6) her mindestens eine grabenartige oder grubenartige Ausnehmung (4) gebildet ist, die die Strahlungsauskopplung aus dem Fenster (1) erhöht.

2. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fenster (1) Seitenflächen (8) aufweist, die senkrecht zu den Hauptflächen (5, 6) angeordnet sind oder zu den Hauptflächen (5, 6) orthogonale Teilbereiche aufweisen.

3. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Fenster (1) eine quader- oder würfelförmige einhüllende Grundform aufweist.

4. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (4) mindestens eine ebene Seitenfläche (7a, b) aufweist, die mit der zweiten Hauptfläche (6) einen von  $90^\circ$  verschiedenen Winkel, vorzugsweise zwischen  $20^\circ$  und  $70^\circ$ , einschließt.

5. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (4) eine Bodenfläche aufweist, die vorzugsweise parallel zur zweiten Hauptfläche (6) ist.

6. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (4) in Form eines Grabens mit einem dreieckigen oder trapezförmigen Querschnitt gebildet ist, der sich zur ersten Hauptfläche (5) hin verjüngt.

7. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von grabenförmigen Ausnehmungen (4) in dem Fenster (1) ausgebildet ist.

8. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (4) von mindestens einer gekrümmten Fläche begrenzt wird.

9. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (4) im wesentlichen die Form einer Halbkugel, eines Kugelsegments, eines Ellipsoidsegments, eines Kegels oder eines Kegelstumpfs aufweist.

10. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Brechungsindex des Fensters (1) größer ist als der Brechungsindex der Mehrschichtstruktur (3).

11. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Fenster (1) Saphir, Quarzglas, Diamant, ITO, SnO, ZnO, InO, SiC oder GaP enthält.

12. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Mehrschichtstruktur auf GaN basiert und insbesondere mindestens eine der Verbindungen  $\text{GaN}$ ,  $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ),  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) oder  $\text{Al}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Ga}_y\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) enthält.

13. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet,

daß die Mehrschichtstruktur (3) epitaktisch hergestellt ist.

14. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Mehrschichtstruktur (3) auf einem Epitaxiesubstrat aufgeschieden wird und das Fenster (1) aus dem Epitaxiesubstrat gefertigt ist.

15. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Fenster (1) mit der Mehrschichtstruktur (3) mittels eines Waferbondingverfahrens verbunden ist.

16. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 15, gekennzeichnet durch die Schritte

- Bereitstellen einer Fensterschicht mit einer ersten Hauptfläche und einer der ersten Hauptfläche gegenüberliegenden zweiten Hauptfläche,
- Aufbringen einer Halbleiterschichtenfolge auf die erste Hauptfläche der Fensterschicht,
- Ausbilden mindestens einer Ausnehmung in der Fensterschicht von der zweiten Hauptfläche her,
- Fertigstellen des Halbleiterbauelements.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschichtenfolge epitaktisch auf der Fensterschicht abgeschieden wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschichtenfolge mittels eines Waferbonding-Verfahrens auf die Fensterschicht eingebracht wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung durch Einsägen der Fensterschicht auf der zweiten Hauptfläche gebildet wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Hauptfläche mit einem Sägeblatt mit Formrand eingesägt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Sägeblatt im Sägebereich einen trapezförmigen Querschnitt aufweist.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung in die zweite Hauptfläche eingeätzt wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung durch ein Laserablationsverfahren hergestellt wird.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

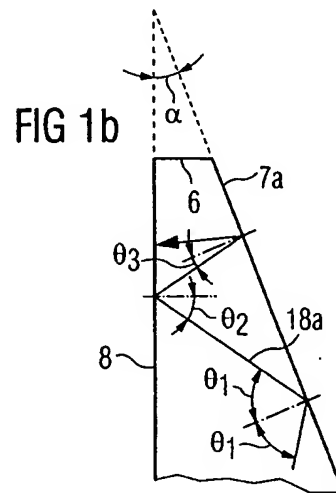
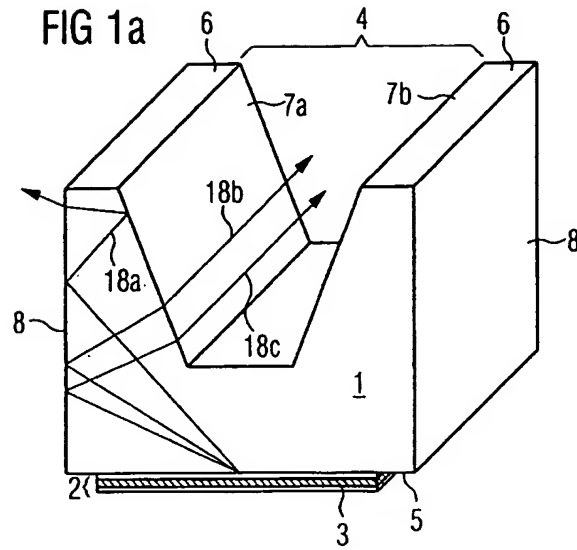




FIG 2

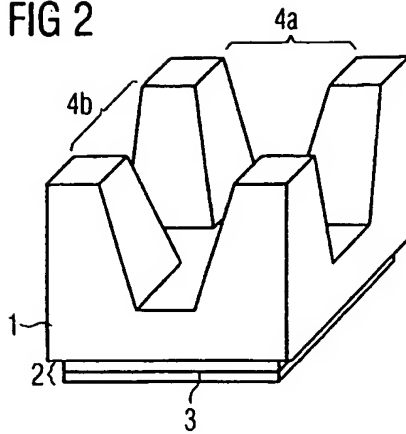


FIG 3a

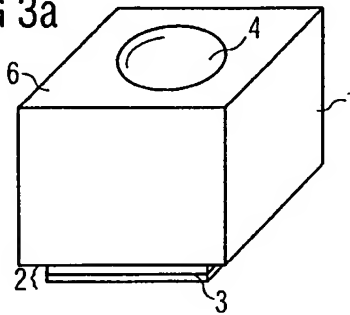


FIG 3b

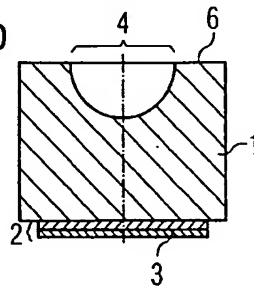


FIG 4

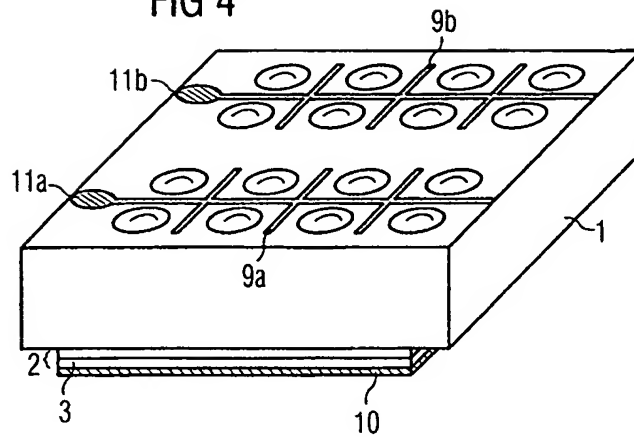


FIG 5

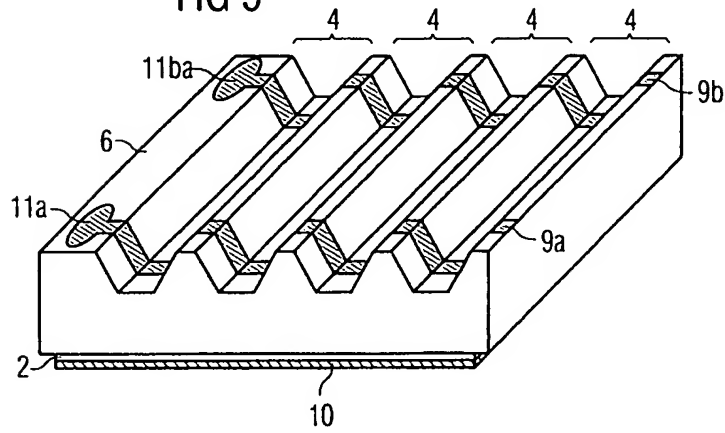


FIG 6

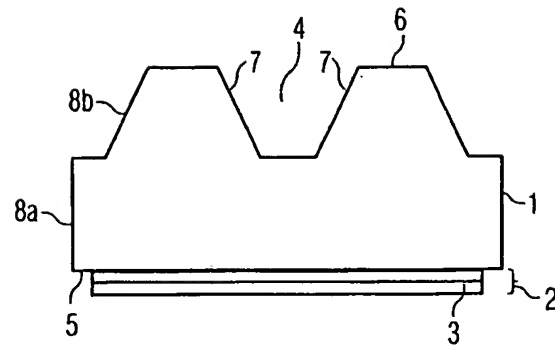


FIG 9

Stand der Technik

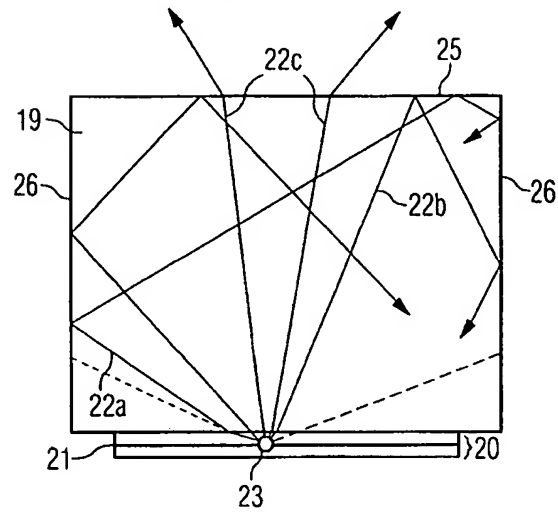


FIG 7

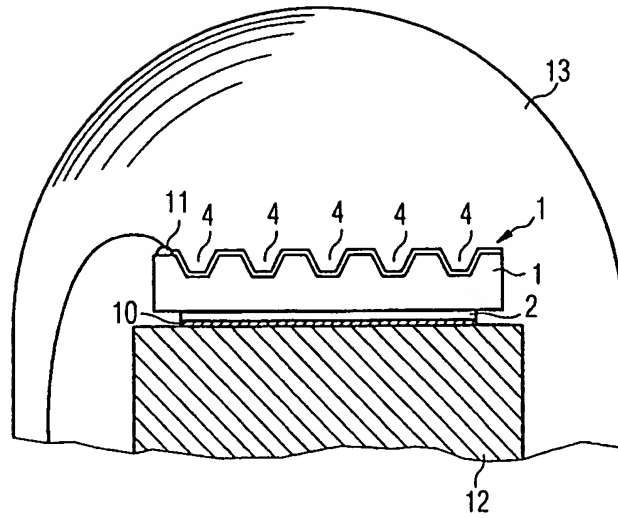


FIG 8

